

油气勘探目标评价与优选系统

徐旭辉,蔡利学,刘超英,武明辉,邹伟

(中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:如何在有限资金下针对不同勘探目标进行评价优选是油气勘探者持之以恒的研究主题。不同勘探阶段油气勘探的目的不同,勘探对象也有所不同,其评价方法及参数也会有所差异。对比国内外相关评价方法,提出利用勘探程度指数作为划分勘探程度的定量指标,并结合不同勘探阶段我国油气勘探中主要面对的勘探对象,分别针对区块、区带、圈闭等不同类型的勘探目标开展了系统分析和方法参数研究,相应建立了不同勘探阶段下区块的“油气条件概率-资源战略价值”、区带的“油气发现概率-资源战略价值”和圈闭的“含油气概率-资源战略价值”等双因素评价优选模型,并开发具有自主知识产权及适应我国油气勘探的目标评价与优选系统,以满足勘探评价人员和管理人员客观、快速评价决策的需要。

关键词:油气概率;资源战略价值;勘探程度指数;勘探目标评价

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Evaluation and selection system for petroleum exploration targets

Xu Xuhui, Cai Lixue, Liu Chaoying, Wu Minghui, Zou Wei

(Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: Evaluation and selection of potential exploration targets with limited capital support is an eternal theme for all the oil and gas explorers. Different exploration targets have to be dealt with in different stages of exploration, which means different evaluation methods and parameters. Based on a comparison of evaluation method both domestic and abroad, we proposed in this paper to quantitatively guide exploration with exploration extent index, and established several two-factor evaluation models (hydrocarbon accumulation conditions-resource strategic value model for blocks, hydrocarbon discovery probability-resource strategic value model for plays and hydrocarbon-bearing probability-resource strategic value model for traps) with intellectual property for different stages of exploration based on systematic analyses and parameters selection upon various exploration targets such as blocks, plays, traps and etc. The models are customized for oil and gas exploration in China and can be used to yield objective and quick evaluation and selection results for explorers and management staff.

Key words: oil and gas probability, resource strategic value, exploration extent index, exploration target evaluation

1 系统概述

随着国家对能源需求的不断加大,国内油气勘探步伐不断加快,油气勘探领域不断扩大,油气产业快速发展,从而使得勘探工作面临越来越多的问题。就勘探形势而言,面对勘探对象多元化、复杂化的特点,使得勘探工作更需要收集、处理、分析海量信息,综合使用石油地质、地球物理、石油经济和计算机等各类技术方法,利用统一决策平台平衡勘探风险,实现快速科学决策与合理部署。就油气勘探生产而言,针对国内石油公司以区块为单位的操作单元,每年都需要面临低勘探程度区块的“选优”部署和“选差”退出的决策要

求。在区带方面,需要理清勘探方向和重点,明确哪些区带是可供评价的现实区带,哪些是下一步有利的预探区带,从而为分层次规划部署提供科学依据;在圈闭方面,面对油公司不同探区的预探圈闭,在有限资金的条件下,需要统一平台评价、体现效益、突出重点,从而优选重点钻探目标。

针对以上勘探形势和生产需求所面临的问题,通过开展国内外多方面的调研研究^[1-8],对 CRYSTAL BALL, GEOX 和 PDSYS 等国内外相关软件进行了系统分析,认识到针对不同勘探程度、不同类型勘探目标需要进行统一评价的问题,有必要研发建立具有自主知识产权、与国际惯例接轨并适合我国不同勘探阶段、高度集成化的油气勘探目标评价优选决策系统。

收稿日期:2014-11-12;修订日期:2015-05-08。

第一作者简介:徐旭辉(1964—),男,博士、教授级高级工程师,盆地分析与勘探部署研究。E-mail: xuxh_syky@sinopec.com。

基金项目:中国石油化工股份有限公司科技攻关项目(P07010)。

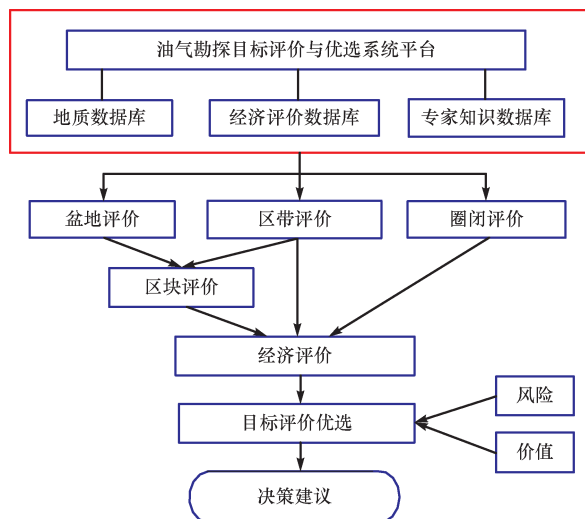


图1 油气勘探目标评价与优选系统流程

Fig. 1 Flowchart of evaluating and selecting exploration targets for oil and gas

研究中针对勘探目标,首先划分评价单元,从定性与定量两个方面认识其勘探程度。基于地质数据库、经济评价数据库和专家知识库等数据平台,按照油气勘探目标评价与优选系统研究思路(图1),开展盆地、区带和圈闭等目标评价;结合对应的技术经济评价研究,通过“含油气概率-资源战略价值”模型开展相应的目标综合评价优选,最终提出不同勘探阶段下区块、区带、圈闭等不同勘探类型目标评价优选的决策建议。

2 评价单元勘探程度定性与定量划分方法

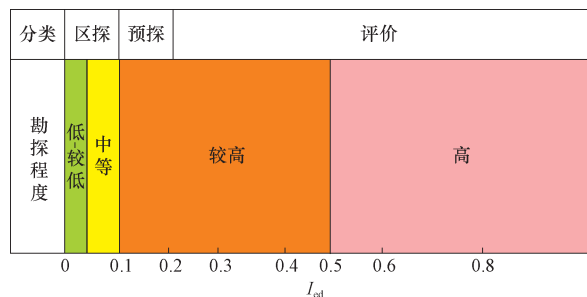
勘探程度反映了人们对一个地区的地质和油气资源状况认识的程度。不同勘探程度勘探目标的勘探目的不同,所获取的地质信息、面临的地质风险及评价考虑的地质关键因素也均有不同。因此,不同勘探程度地质评价目标不宜直接对比,而应针对评价单元,以勘探程度进行分类对比分析评价。本次研究中,提出将勘探程度指数(index of exploration degree)作为勘探程度定量划分的指标[公式(1)],从地震密度(二维、三维)、钻井密度等油气勘探工作量与油气资源落实率或发现率等油气资源认识指标来定量反映勘探程度。

$$I_{ed} = \sqrt{\frac{R_{id}^2 + W_{ed}^2}{2}} \quad (1)$$

式中: I_{ed} 为勘探程度指数, $0 \leq I_{ed} \leq 1$; R_{id} 为资源落实(发现)程度系数, $0 \leq R_{id} \leq 1$; W_{ed} 为勘探工作密度系数,代表单位面积上勘探工作量(主要包括二维地震、三维地震和探井工作量)的密度, $0 \leq W_{ed} \leq 1$ 。

勘探工作密度:

$$W_{ed} = \sum_{i=1}^3 Y_i / S \quad (2)$$

图2 勘探程度(I_{ed})量化划分Fig. 2 Quantitative partition graph for determining exploration extent I_{ed}

二维工作量与探井数关系:

$$Y_1 = a_1 X_1^2 + b_1 X_1 + c_1 \quad (3)$$

三维工作量与探井数关系:

$$Y_2 = a_2 X_2^2 + b_2 X_2 + c_2 \quad (4)$$

其中: Y_i 为探井工作量; Y_1 为评价单元内二维地震工作量回归探井工作量; Y_2 为评价单元内三维地震工作量回归探井工作量; Y_3 为评价单元内探井工作量; X_1 为二维地震工作量,km; X_2 为三维地震工作量,km²; $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2$ 为常数; S 为评价单元面积,km²。

资源落实程度:

$$R_{id} = \sum_{i=1}^4 Q_i / Q \quad (5)$$

式中: Q_i 为资源量,10⁴t; Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 分别代表探明、控制、预测、潜在资源量,10⁴t; Q 为总资源量,10⁴t。

通过对我国东部、西部和南方等区块及区带大量样本点进行分析,在数据统计的基础上,经过与实际资料对比并多次反复拟合,将勘探程度指数 $0.5 \leq I_{ed} \leq 1$ 定义为高勘探程度,将 $0.1 \leq I_{ed} < 0.5$ 定义为较高勘探程度,将 $0.02 \leq I_{ed} < 0.1$ 定义为中等勘探程度,而将 $0.01 \leq I_{ed} < 0.02$ 定义为较低勘探程度,将 $0 \leq I_{ed} < 0.01$ 定义为低等勘探程度(图2)。其中, $0 \leq I_{ed} < 0.1$ 分类为区探阶段;有油气发现,勘探指数 $0.1 \leq I_{ed} < 0.2$ 分类为预探区带;勘探指数 $0.2 \leq I_{ed} \leq 1$ 分类为评价阶段。针对区块评价主要是处在区探阶段的目标,其勘探程度主要为低-中等;而针对区带评价主要是处在预探-评价阶段的目标,其勘探程度主要为较高-高。

3 不同类型勘探目标评价优选系统

在勘探程度划分的基础上,针对不同勘探程度下的勘探目标优选评价参数,依据“含油气概率-资源战略价值”双因素模型方法进行分类评价。

3.1 区块评价优选系统

区块评价往往是对勘探与研究程度不高的地区开

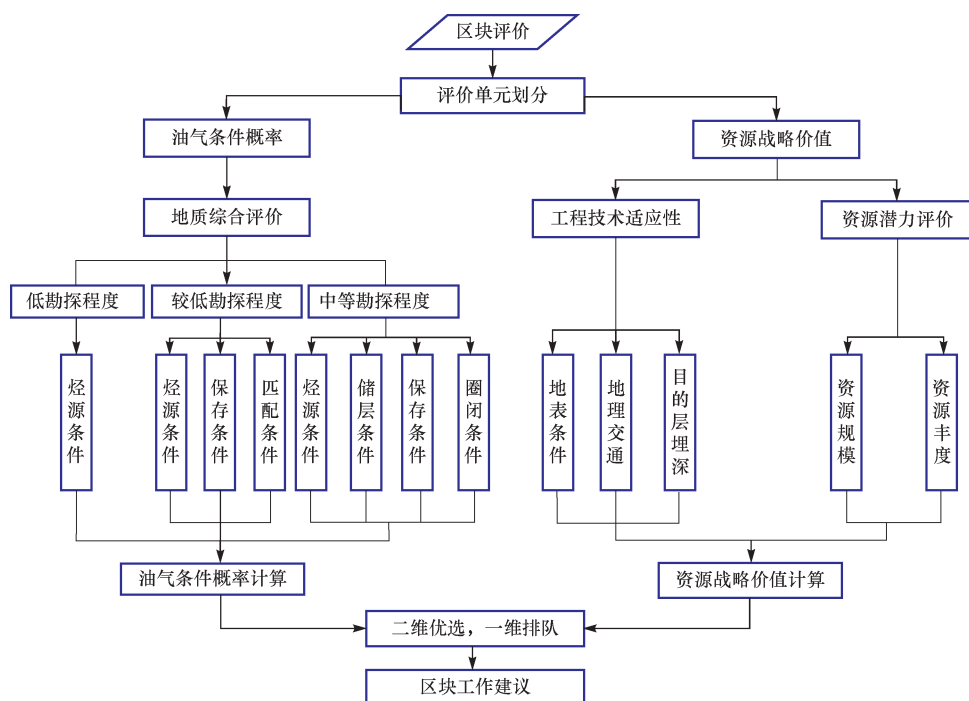


图3 区块评价与优选流程

Fig. 3 Flowchart of block evaluation and selection

展评价,评价中再根据勘探程度分类,在统一平台优选的思路下,以资源基础为前提、地质综合评价为依据,兼顾工程技术适应性等因素,进行区块综合评价,达到评价与优选的目的。其流程如图3所示。

以地质评价单元为基础,从油气条件概率与资源战略价值两个方面因素建立评价方法模型(图3)。针对低、较低和中等3个不同勘探程度的区块,分别从烃源条件、储层条件、保存条件、匹配条件与圈闭条件选用了不同的评价参数组合^[9],构成对区块油气条件概率的认识;同时,通过对资源规模、资源丰度和勘探技术适应性3个方面所构成参数,来认识区块的资源战略价值,其中工程技术适应性综合考虑地表条件、地理交通与勘探目的层埋深等因素。其数学模型如下。

1) 油气条件概率(P)

低勘探程度:

$$P_{\text{油气条件}} = P_{\text{烃源条件}} \quad (6)$$

较低勘探程度:

$$P_{\text{油气条件}} = P_{\text{烃源条件}} \times P_{\text{保存条件}} \times P_{\text{匹配条件}} \quad (7)$$

中等勘探程度:

$$P_{\text{油气条件}} = P_{\text{烃源条件}} \times P_{\text{储层条件}} \times P_{\text{保存条件}} \times P_{\text{圈闭条件}} \quad (8)$$

2) 资源战略价值(Q)

$$Q_{\text{资源战略价值}} = Q_{\text{资源规模}} \times Q_{\text{资源丰度}} \times Q_{\text{勘探技术适应性}} \quad (9)$$

通过解剖典型地区,分别建立了低、较低及中等勘探程度区块的油气地质条件概率赋值标准以及资源战略价值赋值标准。考虑油气条件概率(P)与资源战略价值(Q)的关系,将计算结果划分为以下3类(图4)。

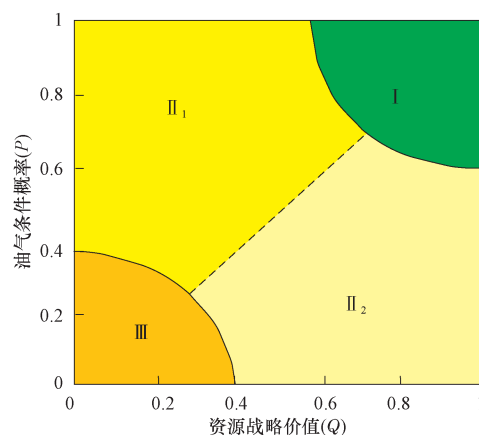


图4 区块评价结果分类

Fig. 4 Classification of block evaluation

1) I类区块:油气条件较好,资源战略价值较大,是有资源、有潜力,值得部署与投入,并力求取得战略突破的区块。

2) II类区块:油气条件或资源战略价值存在认识不清的地方,需要加强综合研究与攻关。其中,II₁类区块油气条件可能较好,但技术难度较大或资源规模有限,需要深化技术适用性或经济技术条件下的资源规模研究;II₂类区块油气条件不明朗,但具有较为适应的方法技术或有一定的资源规模,需要加强基础地质条件研究,深化油气地质条件认识,降低油气发现的风险,重点落实成烃、成藏地质条件。

3) III类区块:油气条件、资源战略价值均较差,属于勘探潜力小和不具有价值地区,可退出。

3.2 区带评价优选系统

自从1972年“play”的概念由M. C. Crossan第一次系统提出以来^[10-11],国内外均开展了不同层面的研究,但由于勘探管理方式、经营理念及地质条件的差异性,国内外对区带的定义及划分有所不同。本文将含油气区带定义为含油气盆地内由相似地质特征或成因联系的目标群组成的二级、三级构造单元或沉积相带,具有独特地质属性,可以作为一个整体来进行部署、发现规模储量。区带评价研究是油公司制定年度勘探计划、中长期规划和勘探项目管理的基础与关键,其核心就是对公司范围内的区带进行地质、风险和经济的综合评价,指明勘探的重点和次序,为规划决策提供依据。

不同类型区带的勘探程度不同,评价目的也有所差异。建立参数模板时针对不同勘探目的及不同的勘探程度,从“油气发现概率”(地质风险、工程风险)和“资源战略价值”两方面,优选关键的评价参数,建立不同的评价模板(图5,图6),从而达到统一评价、方便决策的目的。

评价区带已有油气田发现,其地质评价过程中的不确定因素较少,基础资料的置信度较高,在地质风险评价过程中,重点考虑圈闭及储层条件的各项异性对区带含油气概率的影响(其他地质条件概率为1),工程技术风险考虑该区带所采用的一系列工程技术措施的适用性;对于资源战略价值评价,在考虑资源规模、潜力及价值的基础上,将剩余资源规模、资源升级潜力、探明速率以及油气储量的价值等作为对比评价的标准参数(图5)。而预探区带勘探程度及地质认识程度中等,地质评价中的不确定性为成藏主控因素及匹配性,因此在地质风险评价中考虑烃源、储层、保存条件、圈闭以及匹配条件等主要成藏因素的相互配置影响,工程风险考虑工程技术难度以及自然地理环境;在资源战略价值评价中,考虑资源的规模、潜力及目标的落实程度以及该区带的勘探战略价值等因素的影响(图6)^[12]。

3.2.1 油气发现概率(P)

$$P = \prod_{i=1}^5 P_i \quad (10)$$

式中: P 为区带的含油气概率, $0 \leq P \leq 1$; P_i 为单项成藏地质条件发生的概率, P_1 为圈闭条件, P_2 为保存条件, P_3 为储层条件, P_4 为油气源条件, P_5 为配置条件, $0 \leq P_i \leq 1$ 。

评价区带已有油气发现,在地质风险评价过程中,重点考虑圈闭及储层条件的差异性对含油气概率的影响(其他地质条件概率为1);预探区带勘探程度及地质认识程度中等,在地质风险评价中考虑烃源、储层、保存条件、圈闭以及匹配条件等主要成藏因素的相互配置影响。

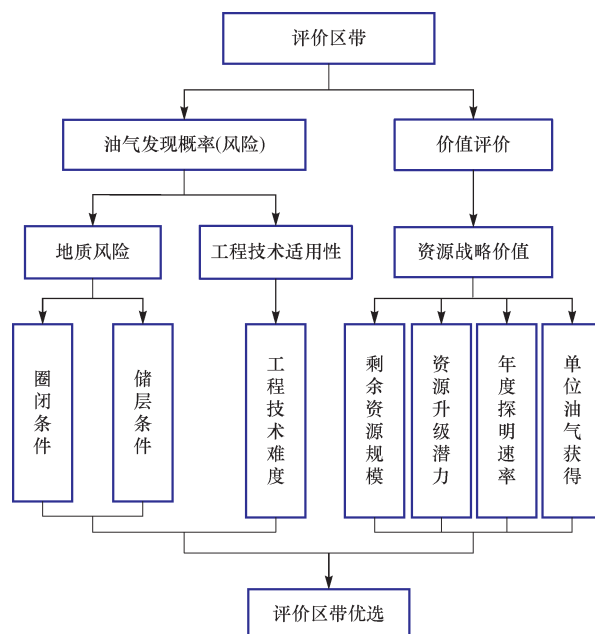


图5 评价区带评价模型

Fig. 5 Evaluation model for plays

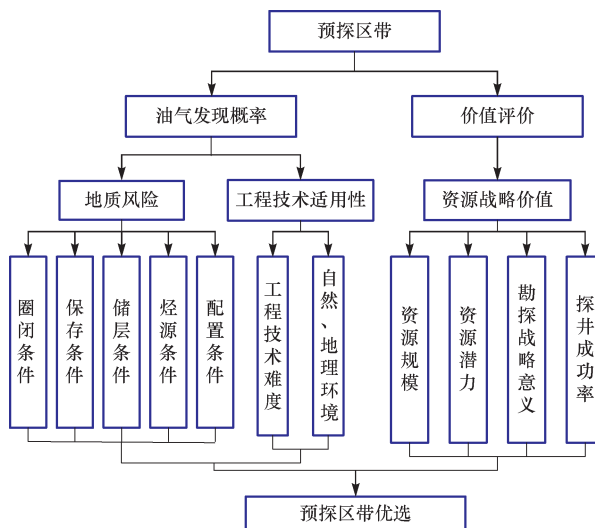


图6 预探区带评价模型

Fig. 6 Evaluation model for plays in the preliminary prospecting stage

3.2.2 资源战略价值(Q)

资源战略价值是区带评价优选中的重要组成部分,其中评价区带资源战略价值评价的主要参数是油气资源探明速率指数、剩余油气资源规模指数、资源储量序列指数和单位油气获利指数。将这4项参数都约束在0~1之间变化,并将这些多维的数据组合成一个新参数,称之为勘探价值指数(Q_{rv} , index of exploration potential),定量化表示资源潜力、价值。

$$Q_{rv} = \sqrt{\frac{Q_m^2 + Q_{sr}^2 + Q_{vp}^2 + Q_{ti}^2}{4}} \quad (11)$$

式中: Q_{rv} 为勘探价值指数, $0 \leq Q_{rv} \leq 1$; Q_m 为剩余资源

规模的相对值, $0 \leq Q_m \leq 1$; Q_{sr} 为资源储量序列指数, $0 \leq Q_{sr} \leq 1$; Q_{vp} 为资源探明速率相对值, $0 \leq Q_{vp} \leq 1$; Q_{ii} 为单位油气获利指数相对值, $0 \leq Q_{ii} \leq 1$ 。

而预探区带用来反映资源价值的评价参数有探井成功率指数、油气资源量指数、资源储量序列指数和勘探战略价值指数等,其中与评价区带评价不同的是探井成功率指数和勘探战略价值指数。将这4个参数组合成勘探价值指数(Q_{rv}),综合反映预探区带的资源战略价值的相对大小。

$$Q_{rv} = \sqrt{\frac{Q_r^2 + Q_{sr}^2 + Q_{ws}^2 + Q_{es}^2}{4}} \quad (12)$$

式中: Q_{rv} 为勘探价值指数, $0 \leq Q_{rv} \leq 1$; Q_r 为资源量相对值, $0 \leq Q_r \leq 1$; Q_{sr} 为资源储量序列指数, $0 \leq Q_{sr} \leq 1$; Q_{ws} 为探井成功率相对值, $0 \leq Q_{ws} \leq 1$; Q_{es} 为勘探战略价值相对值, $0 \leq Q_{es} \leq 1$ 。

3.2.3 优选结果分类

区带评价的目的是为勘探部署提供支持。不同类型的区带勘探目的不同,所承担的风险及价值评价的标准也不同,可以针对不同区带的勘探目的制定不同的分类标准。在大量的数据统计分析的基础上,结合 Chevron 石油公司的分类依据,根据油气发现概率及资源战略价值的大小对不同类型区带评价优选结果进行了分类。

评价区带勘探程度高,为了增储上产,需要在低风险情况下获得最大经济价值效益,其结果分为以下3类(图7)。

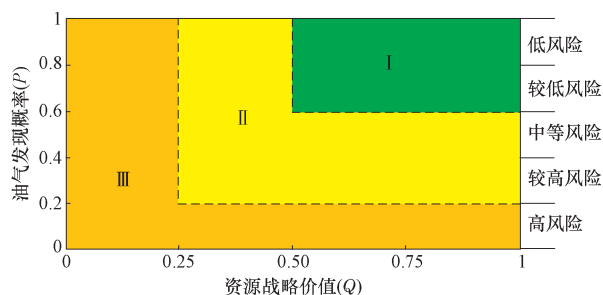


图7 评价区带综合优选示意图

Fig. 7 Diagram showing the process of selecting plays

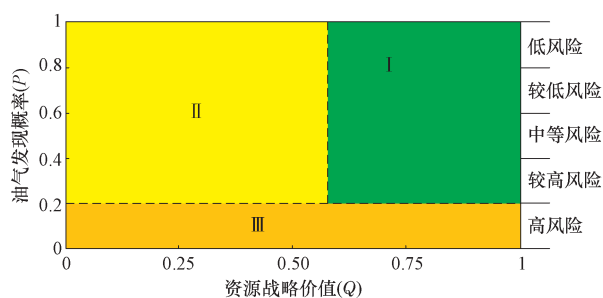


图8 预探区带综合优选示意图

Fig. 8 Diagram showing the process of selection of plays in a preliminary prospecting stage

1) I类评价区带:是指油气资源丰富、储量升级潜力大、成藏关键因素明确、现有工艺技术保障性好及有较好的勘探效益的区带。这是获取规模储量、提高经济效益的现实区带。

2) II类评价区带:是指油气资源较丰富但存在一定地质或工程、工艺问题,或成藏关键因素较为明确的区带。这是储量升级潜力较大的区带,需确保勘探工作量投入或进一步加大地质及工程、工艺研究,确保储量任务的完成。

3) III类评价区带:是指油气资源丰富但部分地质、工程问题有待深入研究,或者成藏关键因素较明确但油气资源规模较小的区带,需进一步加强研究及攻关,适当增加工作量。

预探区带勘探目的在于寻求新突破、新发现,以便培育新的资源阵地,可在一定风险承受能力情况下追求资源价值的最大化,其结果分为以下3类(图8)。

1) I类预探区带:是指油气资源规模大、关键成藏因素较为清楚,或虽然存在部分地质或工程问题,但极具勘探战略价值的区带。这是力求突破的重点资源接替区带,应加大工作量的投入、力求突破。

2) II类预探区带:是指油气资源规模较大,或关键成藏因素较为清楚的区带,需进一步加强研究及攻关、寻求突破。

3) III类预探区带:是指关键成藏因素不清、地质问题有待深入研究及配套的工艺技术存在明显瓶颈的区带。这是需进一步完善的区带,需加强地质研究及工程技术攻关。

3.3 圈闭评价优选系统

圈闭评价是油气资源评价中最基础的评价内容,向上承接盆地与区带评价,向下承接油气藏评价,是油气勘探过程的重要一环^[13-14]。

圈闭评价优选以油气成藏理论为依据,充分利用地震、地面物化探、井筒和综合研究资料,在有利区带研究的基础上,通过对圈闭目标的地质风险、资源估算风险和经济效益的综合分析,优选钻探目标^[15-17]。对于油气勘探圈闭目标,突出圈闭预探“重在发现、求突破”的原则。圈闭优选评价除考虑圈闭可靠性和有效性外,还应考虑目标的资源评价和技术经济评价(图9)。

为了定量评价风险预探目标,使其具有实用、简便的特点,采用“含油气概率-资源战略价值”评价模型(图9),对圈闭目标进行评价、优选排队^[18]。

其中,圈闭含油气概率评价参数包括圈闭、烃源与充注、储集及后期保存等成藏条件。根据概率论原理,含油气概率

$$P_{\text{含油气}} = P_{\text{有效圈闭}} \times P_{\text{有效烃源与充注}} \times P_{\text{有效储层}} \times P_{\text{后期保存}} \quad (13)$$

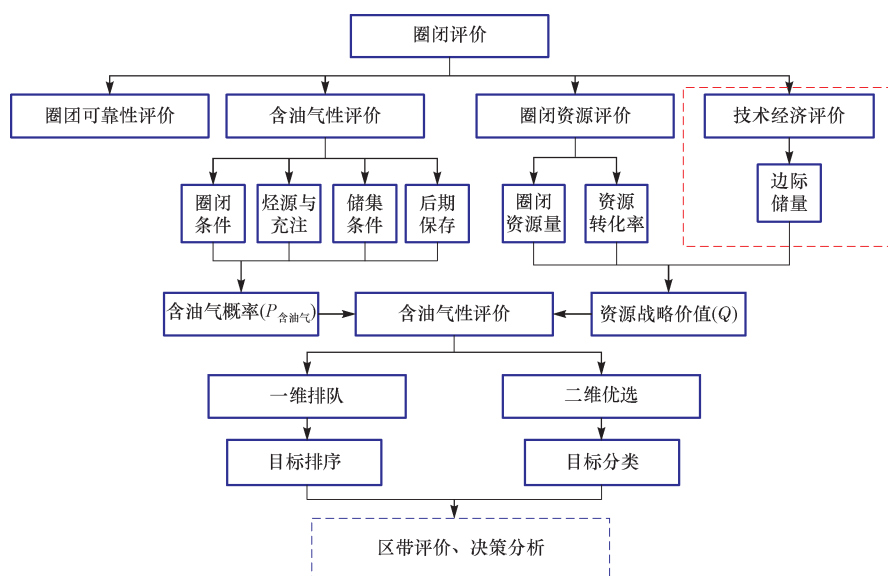


图9 圈闭综合评价流程

Fig. 9 Diagram showing the process of evaluating traps

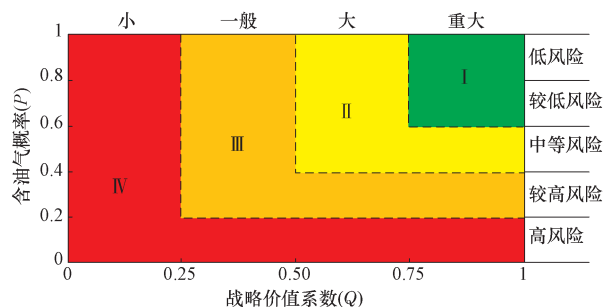


图10 圈闭含油气概率与资源战略价值评价优选结果分类

Fig. 10 Classification of selected traps with the hydrocarbon-bearing probability-resource strategic value model

战略价值评价参数包括资源规模、资源转化率和边际储量,则资源战略价值

$$Q = \text{圈闭资源量} \times \text{资源转化率} - \text{边际储量} \quad (14)$$

由此,其目标评价结果可分为如下4类(图10)。

1) I类:圈闭含油气把握程度高,且具有重大战略意义,即含油气概率 >0.60 、战略价值系数 >0.75 。

2) II类:圈闭具有重大战略意义、含油气把握程度中等,或者含油气把握程度高、具有较大战略意义,即含油气概率为 $0.40 \sim 0.60$ 、战略价值系数 >0.50 ,或含油气概率 >0.60 、战略价值系数为 $0.50 \sim 0.75$ 。

3) III类:圈闭具有一般战略意义,或者含油气把握程度较低,即含油气概率 >0.40 、战略价值系数为 $0.25 \sim 0.50$,或含油气概率为 $0.20 \sim 0.40$ 、战略价值系数 >0.25 。

4) IV类:圈闭只具有较小战略意义,或者含油气把握程度极低,即战略价值系数 <0.25 、而无论其把握程度高低,或者含油气概率 <0.20 、而无论其战略价值大小。

4 不同勘探程度下油气勘探目标经济评价系统

勘探经济评价是分析勘探投资通过勘探项目的运作可能实现的勘探效益,以此判断即将实施的勘探项目部署方案经济上的合理性和可行性^[18-19]。它是在勘探目标地质评价、油藏工程分析和参数预测的基础上,对勘探项目的投入和产出进行分析,通过多方案的比较分析勘探目标的财务可行性和经济合理性,为勘探项目的科学决策提供依据^[20-22]。该系统具备了基于投入、产出分析的静态经济评价和基于现金流分析的动态经济评价(图11),从而有机地实现了不同勘探阶段下勘探目标的经济评价。在勘探程度普遍偏底的区块评价中,采用静态经济评价法^[23],为其资源战略价值评价提供技术适应性定量认识;而在勘探程度较高的区带、圈闭等目标评价领域,选取动态经济评价法,分别为各目标资源战略价值评价提供单位储量获利、储量边际价值和净现值等定量认识,最终为目标优选提供支持。

5 油气勘探目标评价优选系统与应用

在系统分析、工作流程和数据流分析等基础上,研究采用了 Windows. Net 系统架构,基于 Microsoft Visual Studio 2005 和 ESRI ArcGIS 开发平台、Oracle10g 数据库平台和 C/S(客户机/服务器)模式的局域网络平台,完成了“中国石化油气勘探目标评价优选系统 V1.0”(EOET)软件的开发。该软件系统在实现各模块要求的基础上,还包含了基础数据、安全保护等系统功能,

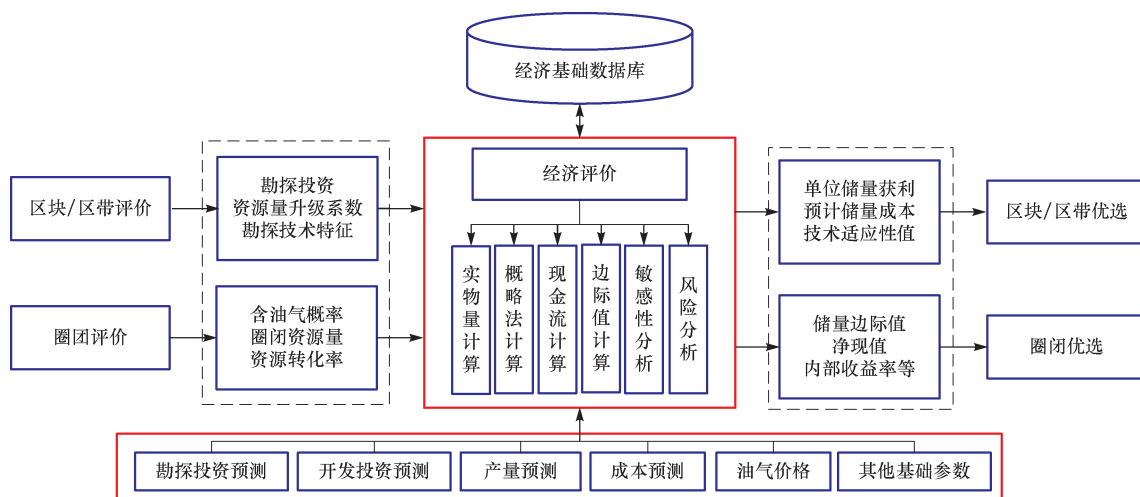


图 11 不同勘探目标经济评价工作流程

Fig. 11 Flowchart of economic evaluation of different exploration targets

并且界面友好、操作简便、安全稳定、接口便捷,可高效、简易地进行不同类型勘探目标的快速评价。

该评价系统的研发解决了不同类型油气勘探目标评价工作中评价方法及平台不统一、评价参数繁杂且难以确定的问题。有利于我国区块、区带、圈闭等不同勘探目标在统一平台进行动态评价,具有提高投资效益的重要实际应用价值。

利用该系统分别针对 2007—2008 年低勘探程度区块进行了评价分类,提出了若尔盖 1、若尔盖 3、阿坝 1、阿坝 2 及文登 14 等 10 个区块的退出建议;2009 年针对南华北地区 21 个评价单元进行了评价,优选出倪丘集、颜集、谭庄—沈丘等凹陷的石炭系—二叠系作为下一步重点勘探与突破的领域,并提出相关部署建议,实现了不同勘探程度下的区块目标分类评价与优选,为区块进退、工作量部署等提供科学依据。

在 2008—2009 年期间,利用该系统对有关区带进行综合评价,优选出了东营南坡、东营北坡和塔河等多个重点评价区带,以及塔中和巴麦等多个重点预探区带,实现了评价、预探等不同层次的区带目标评价与优选。

在 2007—2009 年,利用该系统对油气重点钻探目标进行统一评价和优选,在 100 多个钻探目标中优选出年度重点预探井及参数井有利目标。系统应用表明,该系统实现了统一平台,优选了重点钻探目标,为储量安排、重点目标选择与勘探部署提供了科学依据。

6 结论

1) 针对国外此类评价系统均以地质评价为基础、以经济评价为主导的一维评价,该系统在系统设计思想方面采用了“油气概率—资源战略价值”的二维评价优选模型。对评价单元按照勘探程度分类,合理优

化了评价参数,并采用概率法对参数进行赋值,避免了评价参数繁多且循环使用放大误差的缺点。

2) 根据勘探程度的不同,该系统针对不同类型勘探目标有针对性地选择了参数,提出了按勘探工作密度与资源落实程度定量划分地质评价单元勘探程度的方法。同时,针对不同勘探阶段下的目标分别提出“油气概率(风险)—资源战略价值”双因素方法模型进行评价优选,即针对区块评价采用了“油气条件概率—资源战略价值”评价优选模型,针对区带评价采用了“油气发现概率—资源战略价值”评价模型,且对不同勘探程度的区块评价单元与区带评价单元采用了不同的参数项,针对圈闭评价采用了“含油气概率—资源战略价值”评价模型,从而最终实现不同勘探目标的评价与优选。

油气勘探目标评价优选系统平台满足了客观、快速评价决策的需要,为勘探评价人员、管理人员和决策者提供了先进、适用的工具,有助于规范勘探工作流程、提高勘探决策效率。

致谢:本研究得到了中国石化股份有限公司高级顾问(原总地质师)蔡希源教授、中石化勘探开发研究院何治亮副院长的指导和帮助,在此表示感谢。在系统研发过程中,一直得到中国石化股份公司领导、油田部勘探处、矿权处等部门的指导与参与,在此一并表示感谢!

参 考 文 献

- [1] 武守诚. 油气资源评价导论——从“数字地球”到“数字油藏”[M]. 北京:石油工业出版社,2005:34—40.
Wu Shoucheng. Introduction of petroleum resources assessment: From digital earth to digital reservoir [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005: 34—40.
- [2] Otis R M, Schneidemann N. A process for evaluating exploration prospects[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(7): 1087—1109.
- [3] Newendorp P D. Petroleum exploration risk analysis [A]. In: Devel-

- opments in Petroleum Geology [C]. London: Applied Science Publishers Ltd, 1980.
- [4] 王庭斌. 正确的勘探战略决策是我国油气勘探持续发展的关键[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(5): 557-563.
Wang Tingbin. Correct strategies and decisions being critical for the sustainable development of oil/gas exploration in China[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(5): 557-563.
- [5] 谢寅符, 陈和平, 马中振, 等. 概率法油气储量评估及其与确定法的差异比较[J]. 石油实验地质, 2014, 36(1): 117-122.
Xie Yinfu, Chen Heping, Ma Zhongzhen, et al. Probabilistic estimation of reserves and difference between probabilistic and determine methods[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(1): 117-122.
- [6] 贾光华. 红层油气成藏要素定量评价及成藏概率分析——以东营凹陷博兴地区为例[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(3): 1-5.
Jia Guanghua. Study on quantitative characterization of forming conditions on oil and gas reservoir in red beds and its accumulation probability—taking Boxing area of Dongying depression as an example[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(3): 1-5.
- [7] 石文龙, 李慧勇, 茆利, 等. 沙南凹陷西洼成藏主控因素及有利勘探区带[J]. 断块油气田, 2015, 22(2): 137-141.
Shi Wenlong, Li Huiyong, Mao Li, et al. Main controlling factors of hydrocarbon accumulation and favorable exploration zone in West Shanan Sag[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2015, 22(2): 137-141.
- [8] 闫相宾, 李军, 杨双. 三级圈闭含油气概率和资源量表征方法探讨[J]. 石油实验地质, 2014, 36(4): 495-499.
Yan Xiangbin, Li Jun, Yang Shuang. An approach to hydrocarbon-bearing probability and resource characterization of third-order trap[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(4): 495-499.
- [9] 周总瑛, 唐跃刚. 油气资源评价中风险分析方法探讨[J]. 长江大学学报(社会科学版)[J]. 2004, 27(1): 108-111.
Zhou Yongying, Tang Yuegang. A discussion on method of risk analysis for oil and gas resource evaluation[J]. Journal of Yangtze University (Social Science Edition), 2004, 27(1): 108-111.
- [10] 郭秋麟, 米石云. 油气勘探目标评价与决策分析[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 21-22.
Guo Qiulin, Mi Shiyun. Assessment of petroleum exploration target and decisions[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 21-22.
- [11] 吕鸣岗, 朱向东, 胡素云, 等. 圈闭/区带的地质风险分析[J]. 石油学报, 1997, 18(2): 49-53.
Lu Minggang, Zhu Xiangdong, Hu Suyun, et al. Geological risk analysis of trap and play[J]. Acta Petrolei Sinica, 1997, 18(2): 49-53.
- [12] 闫相宾, 刘超英, 蔡利学. 含油气区带评价方法探讨[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(6): 857-864.
Yan Xiangbin, Liu Chaoying, Cai Lixue. A discussion on methods of play assessment[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6): 857-864.
- [13] 龚再升, 邱中健, 杨甲明. 含油气盆地早期油气资源评价方法——局部圈闭评价[J]. 石油学报, 1983, 4(3): 35-44.
Gong Zaisheng, Qiu Zhongjian, Yang Jiaming. Method of evaluation of hydrocarbons resources of an oil basin at the early stage; Evaluation of local traps[J]. Acta Petrolei Sinica, 1983, 4(3): 35-44.
- [14] 王川, 彭苏萍. 对油气圈闭勘探决策理论和方法的讨论[J]. 石油学报, 2003, 24(2): 50-53.
Wang Chuan, Peng Suping. Discussion about exploration decision-making theory and methods for oil and gas trap[J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(2): 50-53.
- [15] 曲德斌, 胡素云, 秦俭, 等. 圈闭描述评价原理及 TrapDES1.0 使用指南[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998: 46-48.
Qu Debin, Hu Suyun, Qin Jian, et al. The principle of trap description and evaluation[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998: 46-48.
- [16] 盛秀杰, 金之钧, 肖晔, 等. 圈闭评价中含油气性风险依赖性的概念、方法及应用[J]. 石油与天然气地质, 2015, Vol. 36(1): 154-161.
Sheng Xiujie, Jin Zhijun, Xiao Ye, Wang Yigang, Jiang Han. Concept, method and application of geological risk dependency indicating petroleum discovery[J]. Oil & Gas Geology, 2015, Vol. 36(1): 154-161.
- [17] 蔡利学, 闫相宾. 新区预探圈闭优选的含油气概率——战略价值评价方法[J]. 大庆石油学院学报, 2007, 31(2): 28-30.
Cai Lixue, Yan Xiangbin. Optimization of traps to drill in frontier areas; the recovery probability of hydrocarbon-strategic value[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2007, 31(2): 28-30.
- [18] 黄旭楠, 包世界. 油气勘探经济评价方法探讨[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(3): 9-13.
Huang Xunan, Bao Shijie. A discussion on the method of economic evaluation in oil and gas exploration[J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(3): 9-13.
- [19] Hillsson D. Extending the risk process to manage opportunities[J]. International Journal of Project Management, 2002, 20(3): 235-245.
- [20] Rose P R. Risk analysis and management of petroleum exploration ventures[C]//AAPG methods in exploration series 12. Tulsa: Penn-Well Corporation, 2001: 125-127.
- [21] 李华启, 黄旭楠. 油气勘探项目可行性研究指南[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 86-88.
Li huaqi, Huang Xunan. The feasibility study guide for oil and gas exploration project [M]. Beijing. Petroleum Industry Press, 2003: 86-88.
- [22] 郭秋麟, 米石云. 勘探目标投资组合的优化模型及其应用[J]. 勘探管理, 2005, (2): 53-57.
Guo Qiulin, Mi Shiyun. The portfolio optimization model of exploration objects and it's Application[J]. Exploration Management, 2005, (2): 53-57.
- [23] 贾承造, 杨树锋, 张永峰, 等. 油气勘探风险分析与实物期权法经济评价[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 76-79.
Jia Chengzao, Yang Shufeng, Zhang Yonfeng, et al. Risk analysis and economic valuation of oil and gas exploration project with real option method[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 76-79.

(编辑 李 军)